

EXPANSION DE L'ALGUE TROPICALE
CAULERPA RACEMOSA (FORSSKÅL)
J. AGARDH (BRYOPSIDOPHYCEAE, CHLOROPHYTA)
LE LONG DE LA CÔTE TOSCANE (ITALIE)

Luigi PIAZZI¹, Elena BALESTRI², Michele MAGRI¹ et Francesco CINELLI¹

¹Dipartimento di Scienze dell'Uomo e dell'Ambiente, Università di Pisa,
Via A. Volta, 6, 56126 Pisa, Italia. Fax 050-49694. Auteur à qui la correspondance doit être adressée.

²Consorzio Interuniversitario per il Centro di Biologia Marina,
P. le Mascagni, 1, I-57100 Livorno, Italia.

ABSTRACT — Three years after the first record of *Caulerpa racemosa* at Meloria Shoals (Leghorn, Italy), a study has been undertaken in order to evaluate the growth of this species on different substratum and to investigate the interactions with different biocenosis. The results of this study have shown that *C. racemosa* has increased the colonized surface from 3000 m² in 1993 to 300 ha in 1997. *Caulerpa racemosa* grows on algal turfs or the *Cymodocea nodosa* bed. In the contact area with *Posidonia oceanica* the stolons stratify, covering the rhizomes of the phanerogam.

RÉSUMÉ — Trois ans après la première signalisation de *Caulerpa racemosa* sur les Secs de la Meloria (Livourne, Italie), des recherches ont été entreprises pour évaluer l'expansion de l'espèce et pour étudier son développement et ses conséquences sur les autres communautés benthiques. Les résultats de ces recherches ont montré que la surface colonisée par *C. racemosa* est passée d'environ 3000 m² en 1993 à plus que 300 ha en 1997. L'espèce se développe aisément sur les peuplements d'algues gazonnantes et sur l'herbier à *Cymodocea nodosa*, avec un accroissement mensuel des stolons de 15-20 cm. Dans les zones de contact avec *Posidonia oceanica*, les stolons de l'algue se stratifient, en formant plusieurs couches, et recouvrent lentement les rhizomes de la phanérogame.

KEY WORDS : *Caulerpa racemosa*, distribution, growth, marine algae, Mediterranean, Tuscany.

INTRODUCTION

Caulerpa racemosa (Forsskål) J. Agardh est une espèce largement répandue dans les mers tropicales. Probablement à la suite de l'ouverture du Canal de Suez cette espèce a commencé à se propager en Méditerranée (Aleem, 1948 ; Lipkin, 1972 ; Verlaque, 1994) ; l'algue a colonisé de nombreuses zones orientales et méridionales du bassin méditerranéen, le long des côtes de l'Égypte, du Moyen-Orient, de la Turquie, de la Tunisie et de la Sicile orientale (Aleem, 1948 ; Hamel, 1926, 1930, 1931 ; Edelstein, 1964 ; Ben Ayala, 1971 ; Ben Maiz *et al.*, 1987 ; Lami, 1932 ; Rayss, 1941 ; Mayhoub, 1976 ; Huvé, 1957 ;

Rayss & Edelstein, 1960 ; Lipkin & Friedmann, 1967 ; Cirik & Ozturk, 1991 ; Alongi *et al.*, 1993 ; Panayotidis & Montesanto, 1994). *Caulerpa racemosa* a été signalé pour la première fois en Méditerranée occidentale en 1994 (Piazzì *et al.*, 1994), sur les Secs de la Meloria, une large zone de hauts-fonds située en face du port de Livourne (Toscane, Italie).

Ce travail présente les résultats d'une étude de l'expansion de *C. racemosa* le long des côtes toscanes. La première partie de l'étude a conduit à la cartographie des surfaces colonisées par l'algue. Dans la seconde partie les caractéristiques du développement *in situ* et ses conséquences sur les autres phytocénoses ont été étudiées

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Caractéristiques des populations

L'étude a été conduite pendant la période octobre 1995-octobre 1996, sur les Secs de la Meloria et le long des côtes comprises entre les embouchures des rivières Arno au nord et Cecina au sud (Fig. 1). Des plongeurs ont parcouru, d'une façon autonome ou entraînés par un bateau, une série de transects perpendiculaires à la côte pour relever la présence de *Caulerpa racemosa*, les caractéristiques du peuplement et le comportement de l'algue vis-à-vis des autres espèces benthiques.

Caractéristiques du développement *in situ*

L'expérience s'est déroulée le long de la côte livournaise, dans un secteur de 8000 m², à 2-3 mètres de profondeur, où l'espèce s'est implantée depuis peu (Fig. 1). Les principales biocénoses présentes sont des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile et à *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, aussi que des peuplements d'algues gazonnantes colonisant le substrat rocheux. Les taches de *C. racemosa* à l'intérieur de ce secteur d'étude ont été marquées par un petit panneau numéroté et leur surface a été mesurée au début et à la fin de la période d'étude (août -novembre 1996).

Des plantules de *P. oceanica* proches des taches de *C. racemosa* ont été repérées et numérotées. Trois surfaces de 150 cm² à l'intérieur des taches de *C. racemosa* ont été débarrassées de l'algue pour évaluer le temps de recolonisation. Pour évaluer la vitesse d'accroissement de *C. racemosa* dans différents habitats, deux aires différentes choisies au hasard à l'intérieur du secteur d'étude ont été étudiées parallèlement. Des surfaces de 400 cm² ont été marquées dans des zones de contact entre d'une part *C. racemosa* et *P. oceanica*, et, d'autre part, *C. nodosa* et des peuplements gazonnants. Pour chaque type de zone de contact, trois surfaces ont été choisies au hasard à l'intérieur des deux aires. A l'intérieur de chaque surface le nombre et la longueur des stolons ont été comptés et mesurés au début et à la fin du période d'étude.

Les données sur l'accroissement des stolons ont été analysées au moyen d'une analyse de variânces à deux facteurs (ANOVA) (Sokal & Rohlf, 1981) avec un facteur à 3 niveaux (habitat) et un facteur à 2 niveaux (aire). Les valeurs relatives au nombre de stolons ont été analysées après transformation logarithmique. Dans les cas où les différences étaient significatives ($p < 0,05$), la comparaison des moyennes a été effectuée par le test SNK (Sokal & Rohlf, 1981). L'homogénéité des variânces a été vérifiée par le test de Cochran (Underwood, 1981).

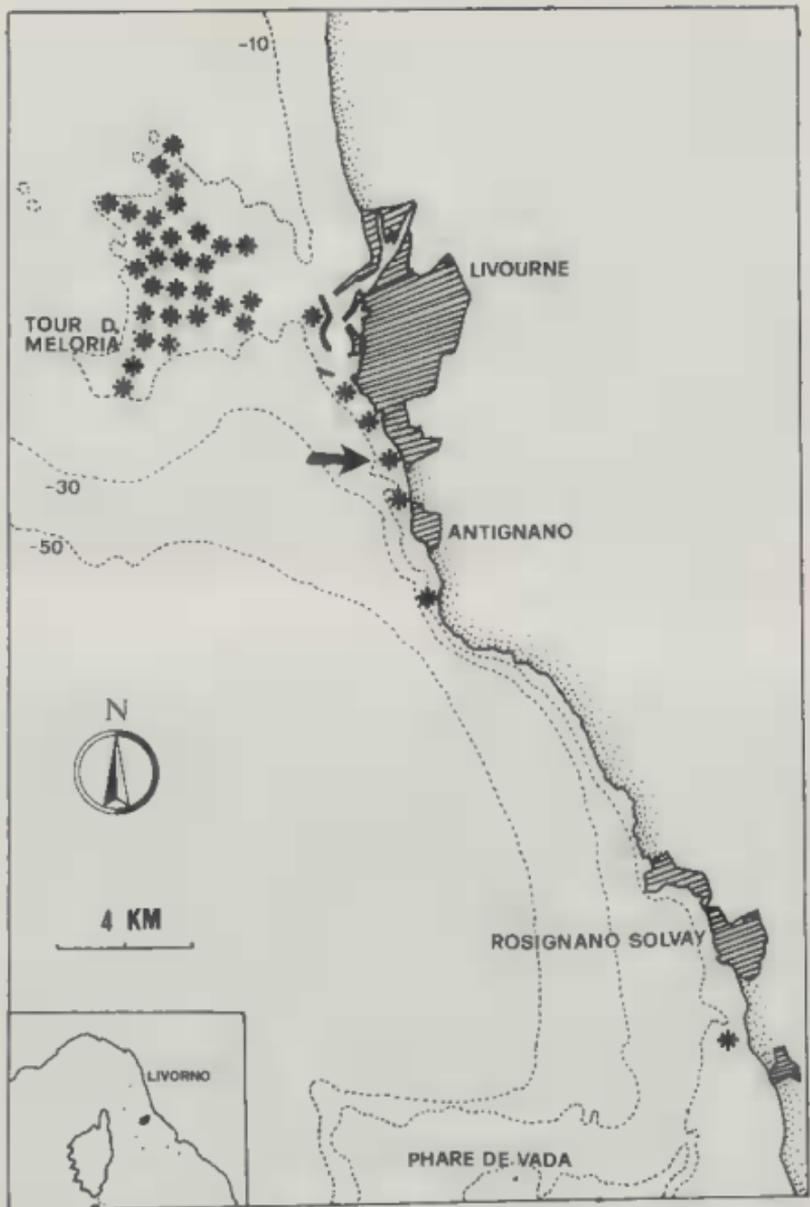


Fig. 1. Distribution de *Caulerpa racemosa* le long de la côte toscane (octobre 1996). La flèche indique le site où l'expérience a été conduite.

Fig. 1. *Caulerpa racemosa* distribution along the coasts of Tuscany (Italy); the arrow indicates the site of the experimental study.

RÉSULTATS

Distribution

La surface colonisée par *Caulerpa racemosa* est passée d'environ 3000 m² en 1993 à plus que 300 ha en 1997. L'algue a été observée sur toute l'aire des Secs de la Meloria, entre 2 et 10 mètres de profondeur, dans la zone côtière entre le port de Livourne et le village de Quercianella et sur les Secs de Vada (Fig. 1). Le long de la côte, la présence de l'algue est limitée à quelques taches de surface comprise entre 0,5 et 20 m² ; mais sur les Secs de la Meloria, surtout dans la partie centrale, *C. racemosa* constitue des prairies continues sur la matre morte de *Posidonia oceanica* et colonise certaines zones de roche et de sable. L'algue n'est pas présente à l'intérieur des herbiers très denses de *P. oceanica*, mais des stolons se développent sur les rhizomes et les plantules de la phanérogame.

En octobre, période de développement végétatif maximal, *C. racemosa* constitue une couverture végétale de 10-15 cm de hauteur qui a tendance à étouffer les autres phytocénoses benthiques. Fin décembre, l'algue commence à perdre la plupart de ses axes dressés et son développement végétatif devient minimal en avril.

Caractéristiques du développement

En août 1996, à l'intérieur du secteur d'étude, 36 taches de *C. racemosa*, de dimensions allant de 0,5 à 18 m², ont été mesurées, représentant une surface totale de 186 m². Après 90 jours, la surface colonisée mesurait 295 m², ce qui représente une augmentation de 58 % par rapport à la surface initiale. L'expansion moyenne des taches a été de $148,8 \pm 104$ %. Treize nouvelles taches d'environ 0,5 m² sont apparues durant la période d'étude.

Les rhizomes des plantules de *P. oceanica* numérotées ont été complètement recouverts par l'algue, seuls les faisceaux foliaires ont été laissés libres. Après trois mois, les surfaces dénudées à l'intérieur des taches de *C. racemosa* ont été complètement recolonisées par les stolons situés en bordure.

Pour la période de 3 mois étudiée, l'accroissement des stolons dans les surfaces marquées a été de $50,3 \pm 6,5$ cm sur les peuplements gazonnants, de $55,5 \pm 13,5$ cm sur les herbiers à *Cymodocea nodosa* et de $7,8 \pm 1,6$ cm sur les herbiers à *P. oceanica* (Figs 2, 3), soit une croissance mensuelle de 2,6 à 18,5 cm. L'augmentation, en pourcentage, du nombre des stolons a été de $93,5 \pm 13,6$ % sur les peuplements gazonnants, de $90,5 \pm 15,3$ % sur les herbiers à *C. nodosa* et de $372,3 \pm 84,3$ % sur les herbiers à *P. oceanica*. L'analyse de variance n'a pas montré de différences significatives pour l'accroissement et l'augmentation du nombre des stolons entre les peuplements gazonnants et les herbiers à *C. nodosa*. Le comportement de l'algue dans les zones de contact avec *P. oceanica* a été significativement différent. En effet, les stolons ont ralenti leur croissance et ont commencé à former plusieurs strates (croissance des stolons : $F = 30,813$, $p = 0,031$; nombre des stolons : $F = 167,513$, $p = 0,005$).



Fig. 2. Allongement des stolons de *Caulerpa racemosa* sur un peuplement algal gazonnant. Échelle = 1 cm.

Fig. 2. *Caulerpa racemosa* grown on algal turfs. Scale bar = 1 cm.



Fig. 3. Les couches des stolons de *Caulerpa racemosa* recouvrant les rhizomes de *Posidonia oceanica*. Échelle = 5 cm.

Fig. 3. *Caulerpa racemosa* grown on *Posidonia oceanica* rhizomes. Scale bar = 5 cm.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

En 1993, lorsque *Caulerpa racemosa* a été observé pour la première fois le long de la côte toscane, il formait seulement quelques taches sur la matie morte de *Posidonia oceanica*, dans la partie la plus superficielle des Secs de la Meloria. Au bout de trois années, grâce à son système de reproduction végétative par fragmentation et par allongement des stolons caractéristiques du genre, l'algue a réussi à se propager de façon importante.

Les résultats du balisage effectué sur les taches de *C. racemosa* ont montré un allongement des stolons pouvant atteindre près de 20 cm par mois. Pendant une année, avec un tel degré de croissance, même si on considère seulement une période de développement de 6 mois par an, à partir d'un fragment, il serait possible d'obtenir une tache d'environ 5 m², qui atteindrait 100 m² trois ans plus tard. Si à ce rythme de croissance on ajoute les nouvelles implantations liées aux stolons dispersés par les courants, il est facile d'expliquer l'augmentation de la surface colonisée constatée au cours des trois années écoulées.

La croissance de *C. racemosa* a rapidement abouti, dans certaines zones, au remplacement total des communautés algales, mais, jusqu'à présent, aucune conséquence négative importante n'a été observée sur les herbiers à *P. oceanica*. L'étude présentée ici a montré que l'allongement des stolons n'est pas négativement influencé par les peuplements d'algues gazonnantes et par les herbiers à *Cymodocea nodosa*, alors que les herbiers à *P. oceanica* semblent représenter un obstacle. Toutefois, l'arrêt de l'allongement est compensé par une stratification des stolons qui constitue alors une couche de quelques centimètres d'épaisseur, recouvrant lentement les rhizomes en bordure de l'herbier. La strate anoxique qui se forme sous les stolons de l'algue pourrait alors endommager les rhizomes.

Sur les côtes françaises, d'importantes conséquences négatives, qui vont de la diminution de la longueur des feuilles jusqu'à la régression, ont été observées dans les herbiers à *P. oceanica* après l'invasion de l'algue *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, autre *Caulerpaceae* tropicale récemment introduite en Méditerranée (Villèle & Verlaque, 1995). Même si *C. racemosa* ne se développe pas sur les faisceaux de *P. oceanica*, contrairement à *C. taxifolia*, il faudrait déterminer si il existe un effet plus lent mais également dangereux pour la phanérogame et évaluer les effets de ce comportement en balisant les zones de contact entre les deux espèces pendant des périodes suffisamment longues.

Le comportement présenté par l'algue durant la période d'étude laisse prévoir que son développement peut se poursuivre le long de la côte livournaise et d'autres régions. L'expansion de l'algue semble liée à la dispersion des fragments par les courants et par certaines activités humaines, c'est à dire le trafic maritime et la pêche. Depuis quelques années, l'algue s'est propagée le long de la côte occidentale italienne à partir de la Sicile (Alongi *et al.*, 1994), jusqu'à la Campanie (Gambi & Terlizzi, 1997), la Toscane (PiaZZi *et al.*, 1994) et la Ligurie (Bussotti *et al.*, 1996). Cette dynamique peut être liée, outre les activités humaines, au régime particulier des courants. La Céramiacée tropicale *Acrothamnion preissii* (Sonder) Wollaston, apparemment introduite dans le port de Livourne (Cinelli & Sartoni, 1969), s'est ensuite propagée vers le Nord-Ouest le long des côtes liguriennes et françaises (Verlaque, 1994). On peut donc s'attendre à un comportement semblable de la part de *C. racemosa*.

REMERCIEMENTS — Nous tenons à remercier plusieurs de nos collègues : Madame Capiomont, qui nous a aidé pour la révision du manuscrit, et Messieurs Acunto et Rindi, qui nous ont aidé pendant l'étude de la distribution de l'algue. Nous remercions également Madame Meschini, directrice de l' Aquarium de Livourne, et Monsieur Rosi, pour l'appui logistique fourni pendant le travail.

RÉFÉRENCES

- ALEEM A.A., 1948 — The recent migration of certain Indopacific Algae from the Red Sea into the Mediterranean. *New Phycologist* 47 : 88-94.
- ALONGI G., CORMACI M., FURNARI G. & GIACCONE G., 1993 — Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) per le coste italiane. *Bollettino delle sedute Accademia Gioenia di Scienze Naturali, Catania* 342 : 49-53.
- BEN AYALA H., 1971 — Sur la présence de *Caulerpa racemosa* J. Agardh dans le Golfe de Gabès et sur le Port de Madhia. *Bulletin de l'Institut national scientifique et technique d'Océanographie et de la Pêche de Salammbô* 1 : 53-54.
- BEN MAIZ N., BOUDOURESQUE C.F. & OUAHCHI F., 1987 — Inventaire des algues et phanérogames marines de Tunisie. *Giornale Botanico Italiano* 121, 5-6 : 259-304.
- BUSSOTTI S., CONTI M., GUIDETTI P., MARTINI F., MATRICARDI G., 1996 — First record of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh along the coast of Genoa (North-Western Mediterranean). *Doriana*, 6 (294) : 1-5.
- CINELLI F., SARTONIG., 1969 — *Acrothamnion* J. Ag. (Rhodophyta, Ceramiaceae) : genere algale nuovo per il Mare Mediterraneo. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli* 37 : 567-574.
- CIRIK S. & ÖZTURK B., 1991 — Note sur la présence d'une forme rare du *Caulerpa racemosa*, en Méditerranée orientale. *Flora Mediterranea* 1 : 217-219.
- EDELSTEIN T., 1964 — On the sublittoral algae of the Haifa Bay area. *Vie et Milieu* 15 : 177-212.
- GAMBI M.C., TERLIZZI A., 1997 — Record of large population of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh (Chlorophyceae) in the Gulf of Salerno (Southern Tyrrhenian Sea, Italy). *Atti XXVII Congresso SIBM, Bari* (in press).
- HAMEL G., 1926 — Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore méditerranéenne. *Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris* 6 : 420.
- HAMEL G., 1930 — Les Caulerpales méditerranéennes. *Revue algologique* 5 : 229-230.
- HAMEL G., 1931 — Chlorophycées des côtes françaises. Ordre des Siphonales. *Revue algologique* 5 : 384-390.
- HUVÉ H., 1957 — Sur une variété nouvelle pour la Méditerranée du *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume* 21 : 67-73.
- LAMI R., 1932 — Quelques algues du grand lac Amer (Basse-Égypte) récoltées par le Professeur Gruvel, en avril 1932. *Revue algologique* 6 : 355-356.
- LIPKIN Y., 1972 — Marine algal and sea-grass flora of the Suez Canal. *Israel Journal of Zoology* 21 : 405-446.
- LIPKIN Y. & FRIEDMANN I., 1967 — Persistent juvenile stage of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh in the eastern Mediterranean. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli* 35 : 243-249.
- MAYHOUB H., 1976 — *Recherches sur la végétation marine de la côte syrienne. Étude expérimentale sur la morphogénèse et le développement de quelques espèces peu connues.* Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Caen, France, 288 p.
- PANAYOTIDIS P. & MONTESANTO B., 1994 — *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the greek coasts. *Cryptogamie. Algologie* 15 (2) : 159-161.

- PIAZZI L., BALESTRI E. & CINELLI F., 1994 — Presence of *Caulerpa racemosa* in the North-Western Mediterranean. *Cryptogamie, Algologie* 15 (3) : 183-189.
- RAYSS T., 1941 — Sur les Caulerpes de la côte Palestinienne. *Palestine Journal of Botany, Jerusalem Series*, 2 : 103-124.
- RAYSS T. & ELDESTEIN T., 1960 — Deux Caulerpes nouvelles sur les côtes méditerranéennes d'Israël. *Revue Générale de Botanique* 67 : 602-619.
- SOKAL R.R. & ROHLF F.J., 1981 — Biometry. New York, W.H. Freeman and Co., pp. 1-859.
- UNDERWOOD A.J., 1981 — Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Oceanography Marine Biology Annual Reviews* 19 : 513-605.
- VERLAQUE M., 1994 — Inventaire des plantes introduites en Méditerranée : origines et répercussions sur l'environnement et les activités humaines. *Oceanologica Acta* 17 (1) : 1-23.
- VILLÉLE X. & VERLAQUE M., 1995 — Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina* 38 : 79-87.